

トピックス

新しい表面改質加工法“EG-X”の研究開発

独立行政法人理化学研究所大森素形材工学研究室 片平 和俊・大森 整
慶應義塾大学理工学部 小茂鳥 潤・水谷 正義

1. はじめに

「物質は神が創り賜うた、しかし、その表面は悪魔の手中に有り」という言葉がある。ある素材を加工するということは、全く新しい“表面”を創成する行為であるが、生まれた表面の機械的機能（形状、粗さ）と化学的機能（耐食性、生体適合性等）を完全にコントロールすることは実際には非常に難しい。

例えば、ステンレス鋼やチタン合金などのバイオ材料は、人工関節や人工歯根などに適用可能とするためにいくつかの特性が要求される。材質面では生体適合性が求められるが、表面状態としては生体為害性がなく、さらに表面機能としては十分な耐摩耗性、耐食性が要求される。表面改質は表面処理によって対処することができるが、機械的特性・機能に対しては表面平滑性という機械的な機能と、耐食性という化学的機能を同時に満たすことが必要であり、その効率的な表面処理は容易ではない。

一方、ELID（電解インプロセスドレッシング、Electrolytic In-Process Dressing）研削法は、多くの材質の超精密加工に適用でき、ナノレベルの超平滑な鏡面加工が効率的に実現できる。このELID研削が、特に金属材料の鏡面加工に適用された場合、著しい表面改質効果を発現することが明らかになってきた^{1)~3)}。すなわち、研削という除去加工でありながら表面改質を施すことができるという画期的なものづくり手法の提案であり、従来は加工変質層としてネガティブに捉えられていた表面を、「加工改質層」という全く新しい認識に置き換えるものである。これは、マイクロ加工においても、表面品質のスケール効果に対応するために、極めて重要な知見であると言える。

本稿では、これらの最新技術について適用事例に基づいて簡単に紹介する。なお、本プロセスはELIDによる電気化学的反応をベースとすることから、“Electrical Grinding for Trans (X)-formation”の略語を取り“EG-X”と呼んでいる。

2. ELID鏡面研削法とは

ELID（電解インプロセスドレッシング）鏡面研削法とは、金属結合による研削工具を陽極に、この一部と対向させた電極を陰極として、両極間にパルス電圧を印加し電解を発生させることによ

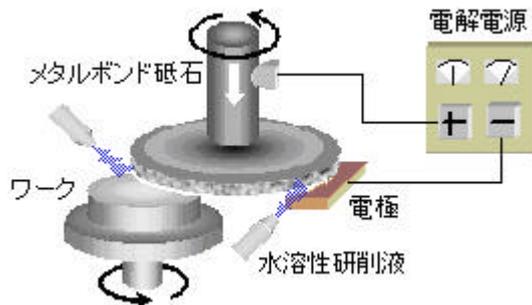


図-1 ELID研削法の基本原理

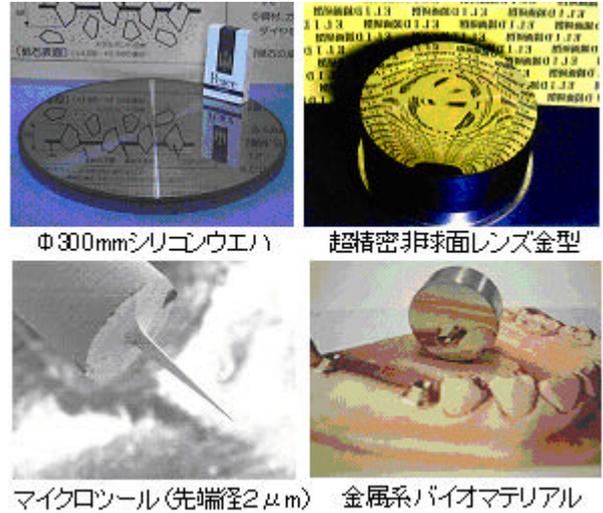


図-2 ELID研削の適用例

り、砥粒（ここではダイヤモンドが主）の突出を加工中に得ることによって平均数ナノメートルの平滑な鏡面加工を実現する手法である（図1）。

高能率・高品位加工法として幅広いアプリケーションを有しており、1995年に基本原理が特許化され、1998年にベンチャー化を果たしている。半導体材料、光学部品材料を主体とした高機能材料による先端デバイス開発および製造技術において、ナノ精度加工を実現している（図2）。

3. 表面改質加工法“EG-X”の適用例

(1) 物質置換現象を利用した表面改質加工と金型材料への適用

近年、デジタル撮像機器、大容量光学記録装置等の急速な小型化・高性能化に伴い、ナノレベルの形状精度・高品位表面を有するマイクロ非球面光学素子の製造技術が重要視されている。マイクロ非球面レンズの成形には、射出成形金型などにはステンレス鋼やNiコーティング金型が適用され、ガラスモールドを含む熱圧縮成形金型には超合金や溶射などの硬質膜コーティング金型材が求められ、これらの金型素材に対応した超精密加工技術（特に研削）が要求される。

また一般に、より高い屈折率を得るためにはガラス転移点温度や硬度・粘性の高い成形材料が使用されることから、金型表面が受けるダメージは大きく、型寿命が懸念される。そこで、マイクロ成形金型の超精密化と長寿命化を両立させるためには、ナノレベルの表面加工のみならず、耐摩耗性、耐食性等の表面機能を付与することが必須と考えられる。

本研究では、マイクロ非球面レンズ成形金型の超精密加工にELID研削を適用し、超精密研削プロセス中に金型表面を改質する手法の構築を狙う。その表面改質加工プロセスを解明し、制御するための基礎実験として、超精密金型用ステンレス鋼に対して、数種類の砥石を用いてELID研削を施し、処理後の試験片に対し

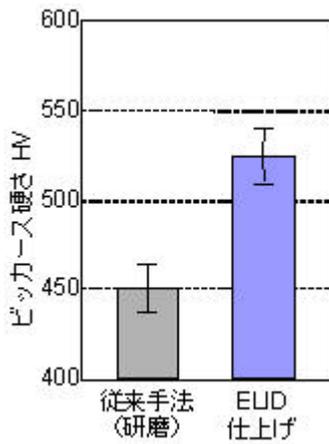


図-3 ナノインデントを用いて金型表面の硬さを測定した結果

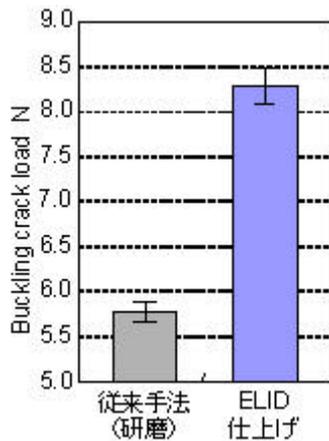


図-4 金型表面にDLCを被覆しスクラッチ試験を行なった結果

て、詳細な分析を行うことによって表面改質層の実態について調査した。その結果、従来加工法と比較して表面改質加工を施した表面は最表面の硬さが数十%向上するという改質効果が認められた(図3)

さらに表面改質加工後にDLCコーティングを施すと、その密着性が大幅に改善されることが明らかとなった(図4)

これら改質効果の発現は、砥粒成分元素であるC、Si、SiCなどを研削加工中に積極的に金型表面へ浸透拡散させる物質置換現象に起因していると考えられる。

さらに図5はFE-SEMを用いて、拡散層の断面を観察し、検出されたC元素のマッピングを行った様子である。最表面にDLC

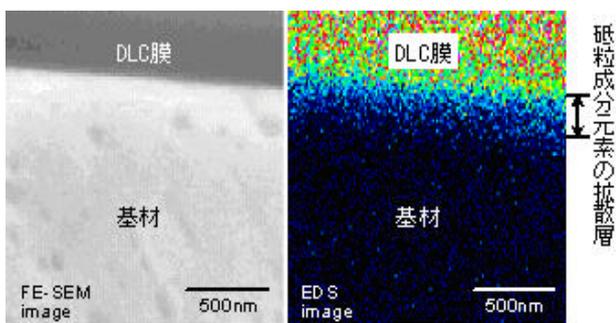


図-5 DLC膜と機材界面のFE-SEM断面イメージ像、砥粒成分元素が拡散している様子

皮膜があり、その下に表面改質層が存在して皮膜との密着性を確保している様子ははっきりと観察される。

(2) 金属系バイオマテリアルに対する表面加質加工と機能評価

我が国では、2015年には高齢者の総人口に対する割合が25%を超えることが予測され、加齢等により失われた身体機能を人工的に代替、修復するため体内に埋入して使用するバイオインプラント材料の使用量が急増するものと予測される。

代表的なインプラントとして、人工関節や人工歯根、整形外科で使用される骨接合用品、ペースメーカー、心臓弁やステント等があるが、いずれの製品も、「人体」という過酷な腐食環境下に対する長期間の安全性のほか、歩行などの負荷が継続して与えられる下肢部では力学的な適合性等が併せて必要とされる。さらに、それらの製品の多くは、難加工性材料であるチタン合金やCo-Cr合金等を素材とし複雑な三次元形状や微細部品で構成されているため、高品位かつ高精度な超精密加工を達成するには困難を極める。

本研究では、バイオマテリアルのさらなる高品位化に際して、一層の精度と表面機能の両立を達成するため、「サイマルプロセス(同時工程内)」でナノ精度加工と所望の表面機能(耐食性、耐摩耗性、生体適合性)を付与するという、独自の表面改質加工技術の開発を目指している。具体的には、ELID加工プロセス中の電気化学反応を応用して、研削液中に水酸化イオンを過飽和に発生させ、それをバイオマテリアル表面(+電位)において微細な酸化現象により非晶質酸化膜として瞬時に定着させる。創成した酸化皮膜のTEM観察結果を図6に示す。

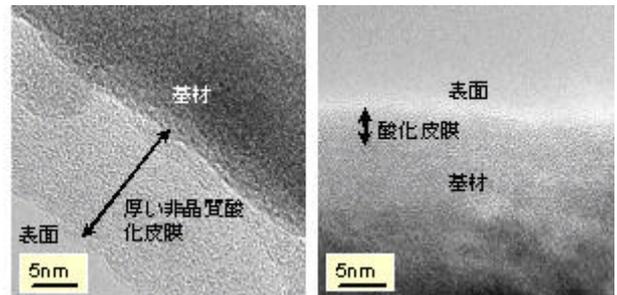


図-6 チタン合金表面の酸化皮膜 (a)ELID仕上げ, (b)従来法: アルミナ研磨)

ここで、被加工物に与える+電位を調節することにより、加工表面に形成される陽極酸化皮膜の厚み、構造を制御することが可能であり、膜厚が150nmを超えたあたりから光の干渉効果により発色し始める(図7)

さらに、本加工手法を施したインプラント材料の安全性の工学的評価及び細胞毒性などの生体適合性評価を進めている。

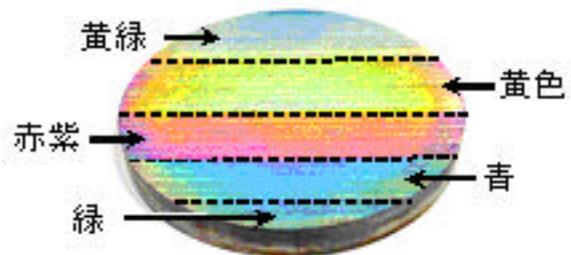


図-7 表面改質加工を施したチタン合金(透明酸化膜の光干渉効果により発色している)

5. まとめ

本稿で紹介した表面改質加工法とは、これまで多数のプロセスにまたがっていた機械加工・表面処理技術を統合化するのみならず、これまでに実現できなかった新たな精度と機能の融合を果たすものとして期待している。

現在、そのメカニズムと制御、解析に関わる基礎研究を進めているが、

表面の被覆による機能化、
物質置換による機能化、
親和性改善による機能化、

などの新プロセスの確立と応用・実用を目指している。

参考文献

- 1) Ohmori, H., Katahira, K., Mizutani, M. and Komotori, J.:
“Investigation on Color-Finishing Process Conditions for Titanium Alloy applying a New Electrical Grinding Process”, Annals of the CIRP, 53, 1 (2004) pp.455-458.
- 2) Ohmori, H., Katahira, K., Nagata, J., Mizutani, M. and Komotori, J.:
“Improvement of Corrosion Resistance in Metallic Biomaterials by a New Electrical Grinding Technique”, Annals of the CIRP, 51, 1 (2002) pp.491-494.
- 3) 片平和俊, 前濱文人, 小茂鳥潤, 水谷正義, 大森整, 西口晃, 岩木正哉, 進藤久宜, 島崎景正: “DLC皮膜と超精密金型の密着性向上に果たす表面改質加工面の効果”, 砥粒加工学会誌, 49, 3 (2005), pp.152-156.

連絡先：独立行政法人理化学研究所中央研究所
〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号
Tel：048(462)1111 (代表)
Fax：048(462)4637
<http://www.mfl.ne.jp>, <http://www.elid.ne.jp/>